

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ

**Цель работы:** ознакомление с характеристиками операционного усилителя и применение его в качестве масштабного усилителя, избирательного усилителя и генератора.

#### *Краткие теоретические сведения*

Операционный усилитель (ОУ) — это усилитель с большим коэффициентом усиления ( $K_U = 10^4 \dots 10^6$ ) и входного сопротивления ( $R_{вх} = 10^4 \dots 10^9 \text{ Ом}$ ), имеющий непосредственные связи, применяемый в основном в качестве активного элемента в схемах с обратными связями. При достаточном коэффициенте усиления операционного усилителя по напряжению передаточная характеристика устройства вместе с цепями обратной связи может являться функцией только параметров цепей обратной связи, не зависящих от усилителя.

В настоящее время ОУ являются основой аналоговой техники и используются для преобразования электрических сигналов в широком диапазоне частот: от 0 до  $10^5 \dots 10^7$  Гц.

Современные ОУ выполняются в виде полупроводниковых интегральных микросхем. Принципиальные схемы интегральных ОУ содержат, как правило, несколько каскадов усиления напряжения, причём входной каскад всегда выполняется по дифференциальной схеме, а выходной — по схеме эмиттерного повторителя. Кроме того, схема содержит цепи согласования каскадов между собой и цепи защиты от перегрузок.

ОУ имеет два входа — инвертирующий и неинвертирующий и один выход.

В данной работе исследуются ОУ на микросхеме К284УД1, цоколёвка и условное графическое изображение которой показаны на рис. 1.

Назначение выводов К284УД1:

1 — неинвертирующий вход; 13 — инвертирующий вход, 8 — выход; 10, 7 — «+» и «-» напряжения питания; 3, 11 — балансировка; 5 — частотная коррекция; 15, 12 — «общий»; 2, 4, 14 — внешнее управление.

Основные электрические параметры микросхемы К284УД1:

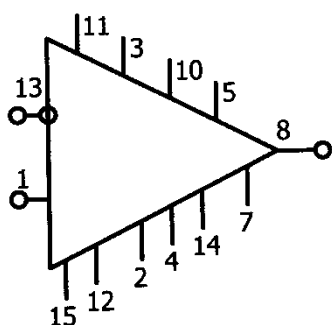


Рис. 1

$K_U$  при  $f = 1000 \text{ Гц} > 20000$ ;

$R_{вх}$  при  $f = 1000 \text{ Гц} > 5 \text{ МОм}$ ;

$R_{вых}$  при  $f = 1000 \text{ Гц} < 200 \text{ Ом}$ ;

На основе ОУ могут быть реализованы устройства, выполняющие самые различные операции, например, инвертирующий и неинвертирующий усилители, повторитель, избирательный усилитель, интегратор, дифференциатор, компаратор, генераторы импульсов различных форм и гармонических колебаний и многое другое. Выполнение ОУ указанных аналоговых операций осуществляется благодаря использованию различных

внешних обратных связей (ОС), как положительных (ПОС), так и отрицательных (ООС).

В настоящей работе исследуются три схемы включения ОУ: инвертирующий усилитель, избирательный усилитель и автогенератор колебаний гармонической формы.

На рис. 2 приведена принципиальная схема инвертирующего усилителя. Резисторы  $R_1$  и  $R_2$  передают часть выходного напряжения усилителя на его инвертирующий вход, образуя цепь отрицательной ОС по напряжению. Наличие цепи ООС приводит к уменьшению коэффициента усиления, но стабильность работы возрастает. Коэффициент усиления данного усилителя определяется по формуле  $K_U = -R_2/R_1$ . Знак «-» говорит об инвертировании сигнала,  $K_U$  не зависит от свойств ОУ и частоты сигнала, поэтому такой усилитель часто называют «масштабным».

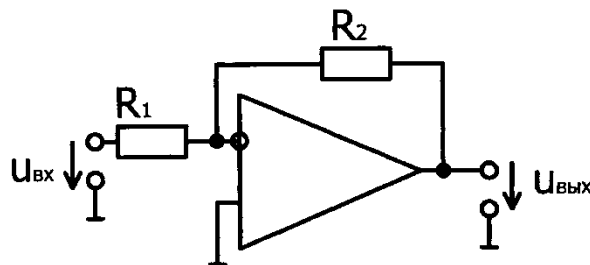


Рис. 2

Для создания на основе ОУ избирательного усилителя необходимо охватить его частотно-избирательной цепью ООС, коэффициент передачи которой  $\beta = U_{oc}/U_{вых}$  в узкой полосе частот снижается практически до нуля.

Широкое применение в таких усилителях низкой и средней частоты нашёл двойной Т-образный мост, схема и амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) которого показаны на рис. 3.

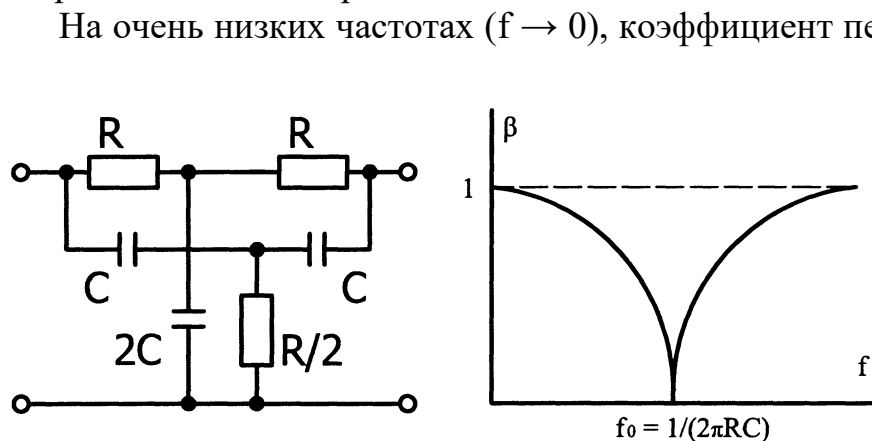


Рис. 3

как сопротивления конденсаторов становятся очень большими и всё напряжение почти без потерь передаётся через «верхний» одинарный мост  $R-2C-R$ . На сравнительно

высоких частотах сопротивления конденсаторов малы и всё напряжение передаётся через «нижний» одинарный мост  $C-R/2-C$  на выход, следовательно, и в этой области частот  $\beta \rightarrow 1$ . На квазирезонансной частоте  $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$  коэффициент передачи моста  $\beta \rightarrow 0$ .

Схема избирательного усилителя с двойным Т-образным мостом в цепи ООС и его АЧХ приведены на рис. 4.

В данной схеме независимая от частоты цепь ООС  $R_1-R_2$  определяет величину  $K_{Umax}$  и стабилизирует работу усилителя. Цепь ООС с двойным Т-

образным мостом обеспечивает избирательные свойства усилителя. При условии  $R_1 \ll R$  обе цепи ОС практически независимы.

Если частота входного сигнала близка к  $f_0$ , то цепь ООС с двойным Т-образным мостом оказывается практически разорванной ( $\beta = 0$ ), в схеме действует

только ООС, созданная резисторами  $R_1$ - $R_2$ , и коэффициент усиления достигает своего максимального значения  $K_{U_{\max}} = -R_2/R_1$ . На всех других частотах  $\beta$  цепи с мостом стремится к 1, поэтому в

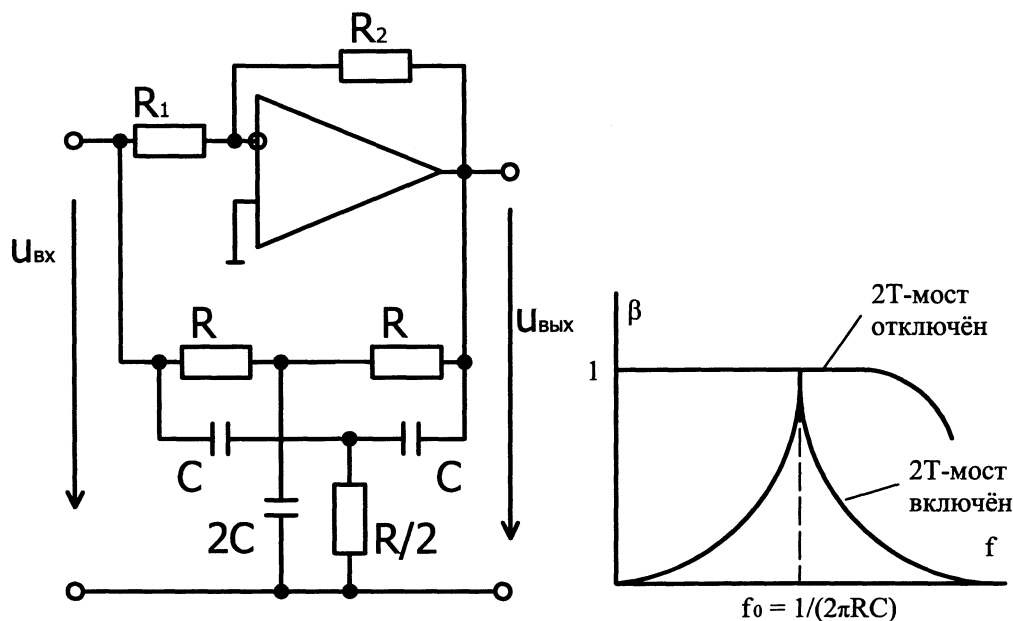


Рис. 4

схеме действует глубокая ООС, что приводит к резкому уменьшению коэффициента усиления усилителя.

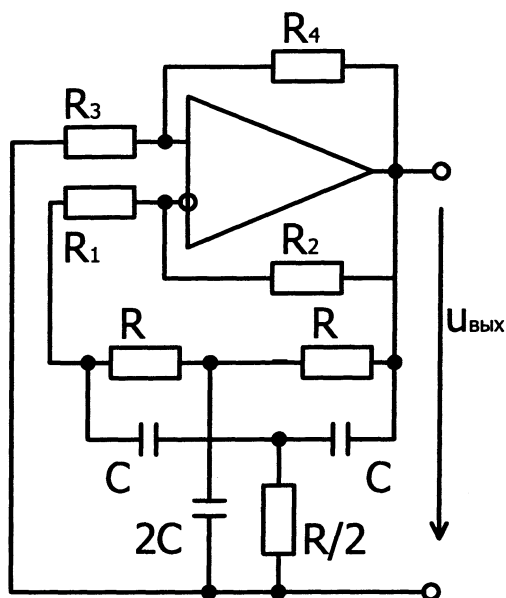


Рис. 5

Для создания генератора на основе ОУ необходимо существование положительной ОС (ПОС). В схеме генератора, приведённой на рис. 5, ПОС создаётся резисторами  $R_3$ ,  $R_4$ . Поскольку данный автогенератор содержит частотно-избирательную цепь – двойной Т-образный мост, то условия самовозбуждения: баланс амплитуд  $k\beta \geq 1$  и баланс фаз  $\varphi_{\text{ус}} + \varphi_{\text{ос}} = 0$  ( $\varphi_{\text{ус}}$  и  $\varphi_{\text{ос}}$  – сдвиг фаз в усилителе и в цепи ОС соответственно) – будут выполняться только на одной – квазирезонансной – частоте  $f_0$ .

Следовательно, возникающие колебания будут гармоническими.

### Краткое описание применяемого оборудования

Лабораторная работа выполняется на лабораторном стенде, на передней панели которого изображена исследуемая схема (рис. 6).

Исследуемая схема включает в себя операционный усилитель (ОУ) типа К284УД1, двойной Т-образный мост, выполненный на элементах  $R$  и  $C$ , а также резисторы  $R_1$  и  $R_2$  цепи ООС ОУ и резисторы  $R_3$  и  $R_4$  цепи ПОС ОУ.

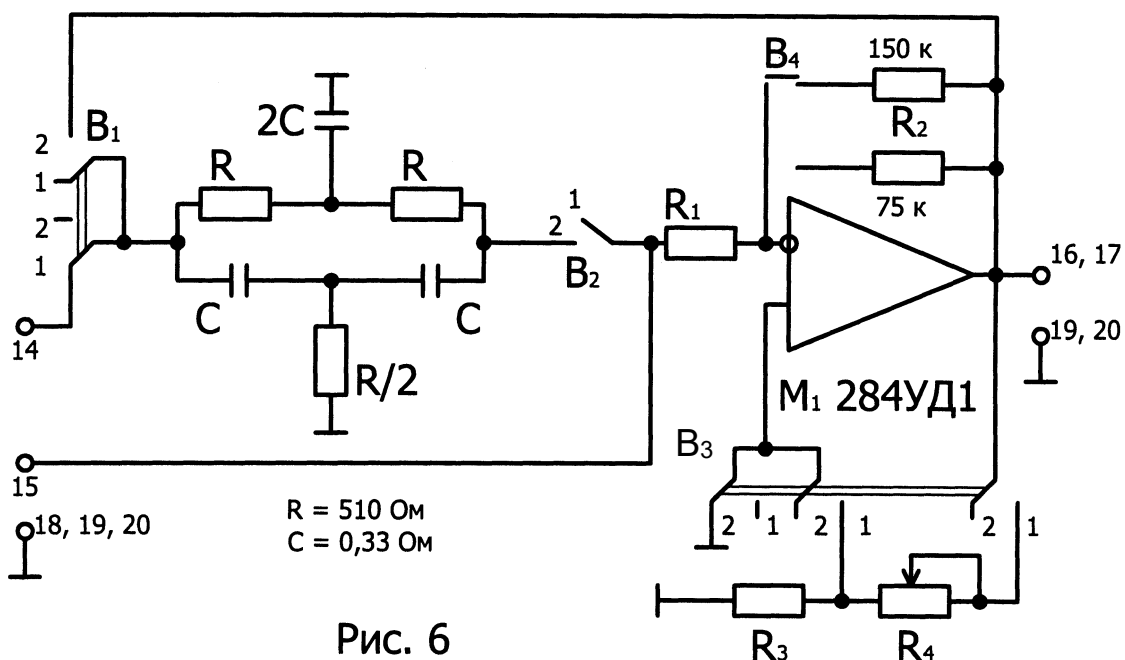


Рис. 6

Переключения в различные режимы работы ОУ осуществляется переключателями  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$ ,  $B_4$  и переменным резистором  $R_4$ , помещённым на лицевую панель лабораторного стенда.

В лабораторной работе используются следующие контрольно-измерительные приборы: генератор напряжения низкой частоты ГЗ-109 с аттенуатором 40 дБ и нагрузкой 50 Ом, двухлучевой осциллограф С1-93, вольтметр переменного тока ВЗ-41.

Структурная схема установки представлена на рис. 7.

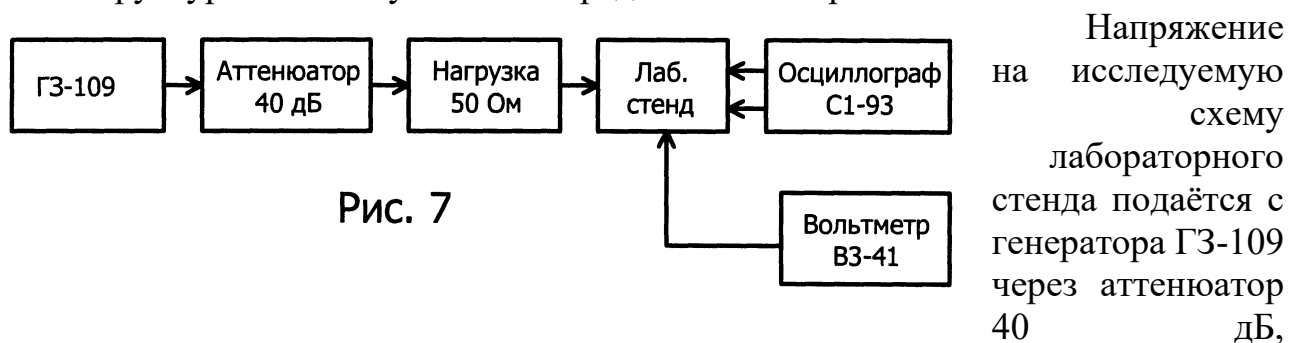


Рис. 7

ослабляющий его выходное напряжение в 100 раз, и согласующую нагрузку 50 Ом. Величина выходного напряжения генератора определяется по его вольтметру.

Выходное напряжение исследуемой схемы лабораторного стенда измеряется вольтметром ВЗ-41. Кроме того, частота, форма и величина измеряемых напряжений определяется с помощью осциллографа С1-93.

### **Методика проведения лабораторной работы**

1. Ознакомиться с описанием лабораторного стенда.
2. Исследовать работу ОУ в режиме инвертирующего масштабного усилителя.

2.1. Отключить от ОУ двойной Т-образный мост, поставив переключатели  $B_1$  и  $B_2$  в положение «1», подключить к ОУ цепь ООС, поставив переключатель  $B_4$  в положение «150к» и соединить

неинвертирующий вход ОУ с общим проводом, поставив переключатель В3 в положение «2».

Соединить выход «1» генератора ГЗ-109 через аттенюатор 40 дБ и нагрузку 50 Ом со входом исследуемого усилителя (гнезда Гн 15, Гн 18 – общ.). К выходу исследуемого усилителя (гнезда Гн 16, Гн 17, Гн 19 – общ., Гн 20 – общ.) подключить вольтметр переменного тока ВЗ-41 и вход первого канала осциллографа С1-93.

После проверки схемы преподавателем включить питание лабораторного стенда и приборов соответствующими тумблерами «сеть».

2.2. Снять амплитудные характеристики масштабного усилителя  $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$  в режиме холостого хода при двух значениях сопротивления  $R_2$  в цепи ООС ОУ: 150 кОм и 75 кОм.

Опыт проводить при частоте входного сигнала равной 1 кГц и изменении напряжения на входе усилителя от 10 до 100 мВ. Результаты записать в таблицу 1 бланка.

2.3. Снять амплитудно-частотную характеристику инвертирующего масштабного усилителя  $K_U = f(f)$  при  $R_2 = 150$  кОм в диапазоне частот входного сигнала от 200 Гц до 15 кГц. Величину входного сигнала поддерживать равной 10 мВ. Убедиться, что  $U_{\text{вых}}$  ОУ, а, следовательно, и его коэффициент усиления  $K_U$  не зависит от частоты входного сигнала. Записать вывод в таблицу 2 бланка и выключить лабораторный стенд тумблером «сеть».

### 3. Исследовать двойной Т-образный мост.

Установить переключатель В2 в положение «2», подключить вход моста (Гн 15, Гн 19 – общ.) к выходу генератора, выход моста (гнезда Гн 14, Гн 18 – общ.) – к вольтметру переменного тока. Установить  $U_{\text{вх}} = 100$  мВ и, плавно изменяя частоту входного сигнала от 200 Гц, по минимуму  $U_{\text{вых}}$  определить резонансную частоту  $f_{\text{рез1}}$  исследуемого двойного Т-образного моста.

Последовательно устанавливая значения частот сигнала:

$f_{\text{рез1}} - 800$  Гц;  $f_{\text{рез1}} - 300$  Гц;  $f_{\text{рез1}} - 100$  Гц;  $f_{\text{рез1}}$ ;  $f_{\text{рез1}} + 100$  Гц;  $f_{\text{рез1}} + 300$  Гц;  $f_{\text{рез1}} + 800$  Гц;

снять амплитудно-частотную характеристику исследуемого моста.

Результаты записать в первую строку таблицы 3 бланка.

### 4. Исследовать работу ОУ в режиме инвертирующего избирательного усилителя.

Установить переключатель В1 в положение «2», дополнительно включить в цепь ООС двойной Т-образный мост. Подключить к выходу ОУ вольтметр переменного тока, установить  $U_{\text{вх}} = 10$  мВ и включить лабораторный стенд. Плавно изменяя частоту входного сигнала от 200 Гц, по максимуму  $U_{\text{вых}}$  ОУ определить резонансную частоту избирательного усилителя  $f_{\text{рез2}}$ .

Последовательно устанавливая значения частот сигнала:

$f_{\text{рез2}} - 800$  Гц;  $f_{\text{рез2}} - 300$  Гц;  $f_{\text{рез2}} - 100$  Гц;  $f_{\text{рез2}}$ ;  $f_{\text{рез2}} + 100$  Гц;  $f_{\text{рез2}} + 300$  Гц;  $f_{\text{рез2}} + 800$  Гц;

снять амплитудно-частотную характеристику избирательного усилителя.

Результаты записать во вторую строку таблицы 3 бланка.

5. Исследовать работу ОУ в режиме автогенератора гармонических колебаний (см. рис. 5). (Установить сопротивление обратной связи  $R_2 = 75 \text{ кОм}$ ).

5.1. Подключить к ОУ цепь положительной обратной связи (ПОС), установив переключатель ВЗ в положение «1». Потенциометр  $R_4$  установить в крайнее правое положение, соответствующее максимальному сопротивлению и, следовательно, минимальной глубине ПОС. Подключить к выходу автогенератора вход первого канала осциллографа, на вход второго канала подать сигнал с генератора ГЗ-109.

5.2. Плавное уменьшение величины сопротивления потенциометра  $R_4$ , то есть увеличивая глубину ПОС, получить режим автогенерации, при котором на выходе автогенератора наблюдается напряжение синусоидальной формы.

Изменяя частоту выходного напряжения генератора ГЗ-109, с помощью осциллографа определить частоту выходного напряжения автогенератора. Зарисовать форму выходного напряжения автогенератора в указанном выше режиме при некотором увеличении глубины ПОС, в результате чего условия самовозбуждения будут выполняться не только на частоте  $f_{рез}$ , что приведёт к искажению формы возникающих колебаний.

6. Выключить контрольно-измерительные приборы и лабораторный стенд, отключить приборы от стенда.

Порядок оформления отчёта.

1. Постройте (на рис. 3 бланка) амплитудные характеристики масштабного усилителя для двух значений  $R_2$  (по таблице 1 бланка) в режиме холостого хода.
2. По построенным характеристикам определите  $K_U$  и сравните с расчётными значениями  $K_U = R_2/R_1$ . Определите  $U_{вх\ max}$  и  $U_{вых\ max}$  при работе усилителя в линейном режиме.
3. Постройте в единой системе координат (на рис. 4 бланка) амплитудно-частотные характеристики масштабного и избирательного усилителей. Определите полосу пропускания  $\Delta f$  избирательного усилителя.
4. Рассчитайте значение квазирезонансной частоты двойного Т-образного моста  $f_0$ , сопоставьте её с экспериментально найденными значениями  $f_{рез}$  избирательного усилителя и частотой  $f_{ген}$  синусоидального колебания автогенератора.

### **Литература**

1. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. –М., Высшая школа, 1982, стр. 150, 156...157, 166...169.
2. Основы промышленной электроники. /Под ред. В.Г.Герасимова. –М., Высшая школа, 1986.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислите основные свойства ОУ, укажите различие между инвертирующим и неинвертирующим входами.
2. Укажите характер и назначение каждой из цепей обратной связи.
3. Почему колебания в рассматриваемом автогенераторе синусоидальны?

Студент \_\_\_\_\_ Группа \_\_\_\_\_ Выполнено \_\_\_\_\_  
 Курс \_\_\_\_\_ Сдано \_\_\_\_\_

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЕРАЦИОННОГО УСИЛИТЕЛЯ

Принципиальная схема

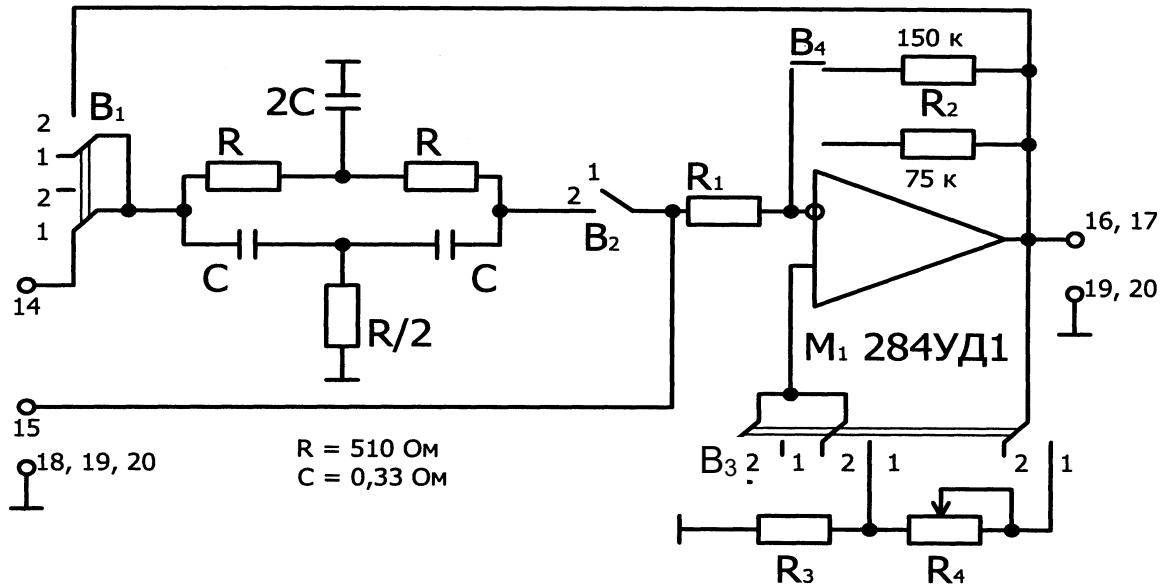


Рис. 1

### ОПЫТ 1

#### Исследование масштабного усилителя

 $f=1\text{кГц}$ 

Таблица 1

$U_{\text{вх}}, \text{мВ}$	0	5	10	20	40	60	80	100	120
$U_{\text{вых}}, \text{мВ}$ ( $R_2=75\text{кОм}$ )									
$U_{\text{вых}}, \text{мВ}$ ( $R_2=150\text{кОм}$ )									

 $U_{\text{вх}}=10 \text{ мВ}$ 

Таблица 2

$f, \text{Гц}$	$2 \cdot 10^2$						
$U_{\text{вых}}, \text{мВ}$							

Т-образный мост:  $f_{\text{рез } 1} =$  \_\_\_\_\_ Избирательный усилитель  $f_{\text{рез } 2} =$  \_\_\_\_\_

### ОПЫТ 2

#### Исследование избирательного усилителя

$U_{\text{вх}1}=100 \text{ мВ}$  (Т-образный мост),  $U_{\text{вх}2}=10 \text{ мВ}$  (избирательный усилитель) Таблица 3

$f, \text{Гц}$	$f_{\text{рез}} - 800$	$f_{\text{рез}} - 300$	$f_{\text{рез}} - 100$	$f_{\text{рез}}$	$f_{\text{рез}} + 100$	$f_{\text{рез}} + 300$	$f_{\text{рез}} + 800$
$U_{\text{вых}1}, \text{мВ}$							
$U_{\text{вых}2}, \text{мВ}$							

### ОПЫТ 3

#### Исследование генератора

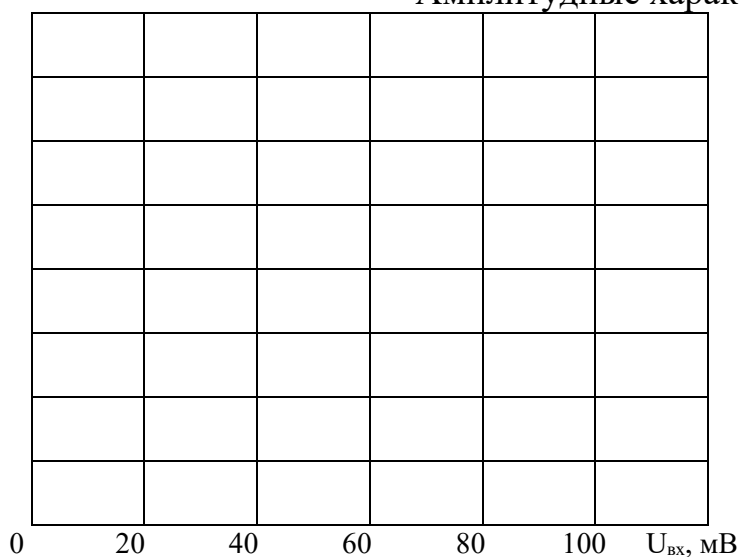
Частота выходного напряжения автогенератора  $f_{\text{ген}} = \underline{\hspace{2cm}}$

Осциллограммы выходного напряжения

синусоидальные автоколебания	
искажённая форма автоколебаний	

Рис. 2

Амплитудные характеристики



Рассчитать

$R_2, \text{ кОм}$	75	150
$K_{\text{и хх}}$		

Рис. 3

Построить частотные характеристики

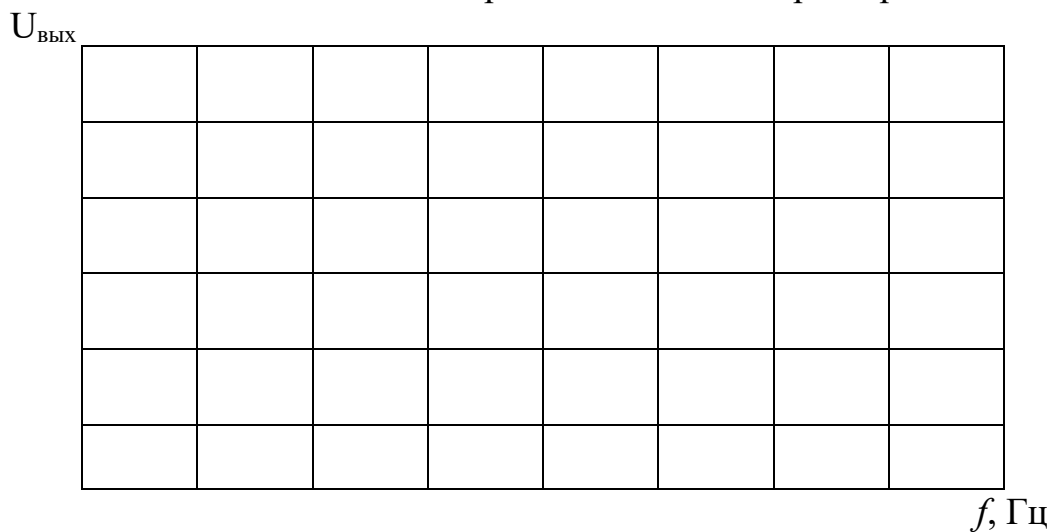


Рис. 4

Определить:  $f_{\text{рез}} = \frac{1}{2\pi RC}$

$f_{\text{ген}} =$